

Similitudes superficiales en solución de problemas por analogía

J. DE LA FUENTE, M. BAILLO, F. GABUCIO Y E. TUBAU
Universidad de Barcelona



Resumen

El presente trabajo pretendió investigar cómo las similitudes superficiales afectan al tiempo que tardan los sujetos en recuperar un análogo presentado previamente cuando intentan resolver un problema. Como se había predicho, a partir de dos modelos sobre el proceso de recuperación de análogos (el de Holland et al., 1986 y el de Keane, 1988), no se encontraron diferencias en cuanto al tiempo de recuperación entre análogos que comparten con el problema exclusivamente la estructura y análogos que además de la estructura contienen similitudes superficiales. Una vez recuperado el análogo, las similitudes superficiales aceleran el proceso de establecimiento de correspondencias.

También se produjo un efecto de «transferencia negativa» generado exclusivamente por similitudes superficiales. Este efecto se explica mejor en el modelo de «suma de activación» de Holland et al., (1986). Finalmente, se propuso una explicación integradora que refiere los dos modelos a momentos distintos del proceso de aprendizaje.

Palabras clave: *Analogía, solución de problemas, recuperación de información*

Abstract

This study investigated the effect of surface similarities on analogue retrieval in problem solving. As predicted from two analogue retrieval models (Holland et al., 1986, and Keane, 1988), no differences in retrieval time were found between structural analogues on the one hand, and surface and structural analogues on the other. Once the relevant analogue was retrieved, surface similarities accelerated the mapping process between the source analogue and the target problem. Furthermore, a negative transfer effect was observed, generated exclusively by way of surface similarities. This effect is best explained by the «summation of activation» retrieval model of Holland et al. (1986). Finally, an integrating explanation is suggested, linking the two models to different aspects of the learning process.

Keywords: *Analogy, analogical problem solving, information retrieval*

Dirección del autor: Dpto. de Psicología Básica. Facultad de Psicología, Universidad de Barcelona. Barcelona-080028

Manuscrito recibido: 15 abril de 1989. Revisión aceptada: 3 de agosto de 1989

INTRODUCCION

El uso de analogías tiene una importancia fundamental en el pensamiento humano y no es extraño que muchos autores hayan concluido que la analogía no es sólo una herramienta de nuestros procesos cognitivos, sino que es el sustrato mismo de las habilidades cognitivas humanas (Keane, 1988; Indurkha, en prensa; Carbonell, 1981; Johnson-Laird, 1980, 1983; Rumelhart y Norman, 1981). En un plano general, puede definirse el razonamiento analógico como la generación de conocimiento aplicable a un dominio nuevo (dominio «objetivo») por transferencia de conocimiento a partir de un dominio mejor conocido (dominio «fuente») (Holyoak y Koh, 1987). A pesar de la importancia que la transferencia analógica tiene en el proceso de solución de problemas y del esfuerzo investigador desarrollado durante los últimos diez años en esta dirección, pocas conclusiones sólidas se han obtenido al respecto.

Según Holland, Holyoak, Nisbett y Thagard (1986), el problema del uso de analogías supone aplicar una información distinta de la que contiene el problema que el individuo está resolviendo y esto nos lleva a la consideración de dos cuestiones relacionadas: a) ¿Cómo puede encontrarse la información relevante que posibilite la solución del problema?, dado que la información que el problema incluye puede, en principio, relacionarse con un gran volumen de conocimiento, la mayoría del cual resulta inútil; y b) Una vez que una analogía relevante es identificada, ¿Qué propiedades de ésta se usarán para desarrollar un modelo de la situación actual? Esta última cuestión se refiere al proceso conocido como «establecimiento de correspondencias» («mapping»). Sobre este proceso podemos decir (haciendo abstracción de los distintos modelos propuestos: Gentner, 1983; Holland et al., 1986; Keane, 1985, 1988) que consiste en determinar las correspondencias entre los dos análogos a un nivel esquemático o abstracto, «extendiendo» la solución del problema en donde es conocida al problema objetivo.

Existe un acuerdo notable al afirmar que los procesos implicados en la primera de las cuestiones, es decir, el mecanismo por el que somos capaces de recuperar análogos potencialmente relevantes, ha sido el más desatendido y es, consecuentemente, el peor comprendido (Holyoak y Koh, 1987; Keane 1988). Ciertos modelos sobre el proceso de transferencia analógicos han evitado el problema de la recuperación centrándose en el proceso de contrastación de correspondencias entre situaciones particulares (véase, p. e., Gentner, 1983; o Burstein, 1986). Otros han implementado mecanismos de búsqueda exhaustiva que son psicológicamente poco plausibles (Winston, 1980).

La separación radical entre el mecanismo que posibilita la recuperación del análogo y su posterior aplicación para la solución del problema se puso de manifiesto ya en el trabajo de Gick y Holyoak (1980). El paradigma experimental básico consistía en el intento de solución del problema de la radiación de Duncaker (1945) (ver Apéndice A) después de haber leído una historia que constituía un análogo, en un contexto distinto, del problema objetivo (ver la historia titulada «El general» en el apéndice B)¹. Estos autores detectaron un espectacular fracaso en la recuperación del análogo previo cuando no se proporcionaba a los sujetos una indicación explícita de su posible utilidad para resolver el problema. Otros trabajos han obtenido fracasos similares, con diversos tipos de problemas, en el uso espontáneo de analogías por parte de los sujetos (Reed, Ernst y Bannerji, 1974; Hayes y Simon, 1977; Weisberg, DiCamillo y Phillips, 1978; Gick y Holyoak, 1983; Perfetto, Bransford y Franks, 1983).

El problema de determinar los factores que influyen en el proceso de recuperación de análogos trasciende los límites de la investigación en solución de problemas y puede verse como un caso particular del proceso por el cual un episodio evoca otro anterior, perteneciente a un dominio distinto pero estructuralmente relacionado (Holyoak y Koh, 1987; Schank, 1982). Si suponemos que las situaciones son descomponibles en «características» más elementales, una hipótesis plausible sería que esas características sirvieran como claves de recuperación. Así, cuantas más características fueran comunes a dos situaciones más probable sería la recuperación de una a partir de la otra.

Holyoak (1984) distingue dos tipos distintos de características: «superficiales» y «estructurales». La distinción estructural-superficial depende de la relevancia de la característica para la consecución del objetivo planteado en la situación. Por ejemplo, «usar una fuerza para destruir un objetivo central» constituiría una característica estructural del problema de la radiación, mientras que elementos como «rayos» o «tumor» serían características superficiales de la situación particular. Tal como afirman Holland et al. (1986), el proceso de recuperación de análogos debería, idealmente, estar guiado solamente por claves de tipo estructural que evitaran la activación de situaciones superficialmente similares pero irrelevantes. No obstante, en el caso de problemas poco familiares, las personas no distinguen correctamente entre elementos estructurales y superficiales ya que su comprensión del problema será casi inevitablemente imperfecta, generando, consecuentemente, una representación empobrecida. Por tanto, no sólo las características estructurales sino también las superficiales afectarán la selección del análogo.

El mecanismo de recuperación que proponen Holland et al. (1986) se basa en el concepto de «suma de activación» resultante de múltiples características. Los conceptos incluidos en la representación del problema objetivo tenderán a activar aquellos conceptos incluidos en otras situaciones con los que se encuentran relacionados. La activación procedente de varias características compartidas se sumará y si el nivel de activación de una representación almacenada excede de cierto umbral, esa representación estará disponible para cualquier procesamiento. Según ello, este mecanismo tenderá a favorecer la activación de representaciones almacenadas que compartan múltiples características superficiales, pudiendo tener problemas a la hora de explicar la recuperación de análogos inter-dominio. Sin embargo, el modelo de Holland et al. considera que en el proceso de recuperación tienden a predominar las características compartidas que están «relacionadas con el objetivo» (estructurales).

Apoyándose en supuestos representacionales distintos que derivan de la teoría sobre la memoria dinámica de Schank (1982), Keane (1988) propone un modelo que también defiende la participación de elementos estructurales y superficiales en el proceso de recuperación. La evocación de un episodio a partir de otro o, en nuestro caso, la recuperación del análogo en el momento de solucionar el problema estaría mediatizada por estructuras de organización de la memoria llamadas «Estructuras de organización temática» o TOPs («Thematic organization points»). Un TOP representa la información, independiente del dominio, que coordina y enfatiza la relación abstracta de dos o más episodios (Schank, 1982). La recuperación del análogo vendrá determinada porque ambas situaciones comparten la misma estructura conceptual abstracta y una o más características de bajo nivel. Durante el proceso de comprensión del problema se generan las «características» del TOP, según los siguientes dos tipos: a) «ca-

racterísticas de los objetivos» (a partir de la especificación de los objetivos); y b) «características de los objetos» (a partir de los roles que estos cumplen dentro de los objetivos: actor, objeto, instrumento, etc.). Por ejemplo, las características de los objetivos en el problema de la radiación serían: DESTRUIR (TUMOR) y EVITAR DESTRUIR (TEJIDOS SANOS), y las características de los objetos serían: «doctor», «rayos de alta y baja intensidad», «tumor», etc. Los procesos de búsqueda intentan relacionar estas características de objetivos y objetos con los objetivos y objetos que ocupan los mismos espacios en otros episodios organizados por el mismo TOP. Las características que son relacionadas con éxito se constituyen en «índices». Sin embargo, sólo pueden relacionarse las características de objetivos con objetivos de idéntica «acción de objetivo» y las características de objetos semánticamente próximos a los objetos de la situación análoga. De esta forma, la probabilidad de recuperación de un análogo será función del número de índices encontrados.

Tanto el modelo de Holland et al. (1986) como el modelo de Keane (1987, 1988) predicen una mayor probabilidad de recuperación espontánea en analogías que compartan elementos estructurales y superficiales que en aquellas que sólo compartan su estructura abstracta. Recientes investigaciones sobre el papel de ambos tipos de características en el proceso de recuperación de análogos confirman tal predicción (ver Holyoak y Koh, 1987 y Keane, 1987). Los resultados de estas investigaciones mostraron una mayor probabilidad de recuperación «espontánea» de las historias que compartían características estructurales y superficiales que las que sólo compartían características estructurales. Sin embargo, una vez conocida la relevancia de la historia previa (los sujetos recibían una pista) no se observaron diferencias. Parece ser, pues, que la mayor probabilidad de recuperación sólo se manifiesta antes de la pista. No obstante, una cuestión que queda aún por resolver es ver si después de la pista siguen observándose diferencias en cuanto al tiempo de solución.

En este sentido, uno de los objetivos de nuestra investigación consiste en analizar el papel de las características estructurales y superficiales en el tiempo de solución del problema (antes y después de la pista), utilizando un paradigma experimental similar al de Gick y Holyoak (1980). Algunas investigaciones sobre solución de problemas por analogía han considerado el tiempo total que invierten los sujetos en solucionar el problema (ver p. e. Reed et al., 1978; Sierra, 1986). No obstante, teniendo en cuenta que las características estructurales y superficiales afectan de distinto modo a los procesos de recuperación y de establecimiento de correspondencias (la probabilidad de recuperación difiere antes y después de la pista), deberemos intentar diferenciar el tiempo invertido en cada proceso. Creemos que registrar el tiempo que tardan los individuos en empezar a escribir sus respuestas puede reflejar indirectamente el tiempo que se tarda en recuperar el análogo. Por otra parte, el tiempo que los individuos invierten en escribir sus respuestas puede informar sobre el tiempo dedicado al proceso de establecimiento de correspondencias. Evidentemente, resultan unas medidas imperfectas, y las consideraciones que se hagan serán meramente tentativas, pero si pueden ser un primer indicio sobre el papel de tales características en el tiempo de recuperación y establecimiento de correspondencias.

Respecto a esta variable, los modelos de Holland et al. y de Keane no predicen diferencias en el tiempo de recuperación entre ambos tipos de análogo. Tanto el mecanismo de suma de activación, como el de estimación de índices no tienen que verse acelerados por el número de características compartidas, aun-

que éstas afecten la probabilidad de recuperación. Si podemos predecir, no obstante, que puede observarse que el proceso de establecimiento de correspondencias será más lento en el caso de analogías exclusivamente estructurales. Suponemos que esto debe ser así porque el proceso de establecimiento de correspondencias entre los elementos superficiales debe resultar más laborioso en este caso, que cuando los análogos comparten también el contexto superficial. La importancia relativa de los elementos superficiales en el proceso de contrastación de correspondencias ya se puso de manifiesto en un trabajo de Holyoak, Junn y Billman (1984).

Otro de los objetivos de este trabajo es analizar el papel de las características superficiales en la producción del efecto de «transferencia negativa». Los experimentos citados anteriormente ejemplifican un paradigma de «transferencia positiva» en donde la transferencia de conocimiento a partir de un análogo facilita, en mayor o menor medida, la resolución de un problema planteado. Sin embargo, también es posible que al proporcionar el análogo a los individuos junto con otra información, ésta produzca un efecto de interferencia. Es decir, la recuperación y posterior contrastación de la historia análoga se ve dificultada porque otras historias compiten con ella en los procesos mencionados. Este efecto ha sido recientemente utilizado por Novic (1988) en un estudio donde comparaba su magnitud con problemas de álgebra. Esta autora encontró que el efecto de interferencia era mayor en profanos que en expertos cuando el problema distractor compartía con el problema objetivo características superficiales pero era estructuralmente distinto.

En nuestro trabajo nos proponemos producir este efecto de transferencia negativa acompañando la lectura de una historia análoga al problema de la radiación con otra historia que comparta con el problema elementos de tipo superficial pero que sea estructuralmente distinta. El propósito de esto es el de evaluar alguna de las distintas predicciones que se derivan de los modelos de recuperación anteriormente expuestos. El modelo de Holland et al. (1986), que basa el mecanismo de recuperación en la suma de activación a partir de elementos estructurales y superficiales comunes, predeciría que el efecto de transferencia negativa no debería manifestarse, o hacerlo débilmente, antes de dar a los sujetos la indicación explícita de la posible relación entre la historia y el problema, y producirse con más intensidad después de esta pista. Proponemos que esto debe ser así porque antes de la pista las características superficiales contenidas en el problema deben enviar activación a un gran número de episodios que las comparten. Dentro de este conjunto de episodios estaría, evidentemente, la historia distractora y el análogo relevante pero la primera no produciría un efecto diferencial en cuanto a la recuperación del análogo, precisamente porque no alteraría sustancialmente la magnitud del conjunto de posibles asociaciones. Dicho de otro modo, la probabilidad de recuperar la historia distractora no sería muy alta por lo que no alteraría sustancialmente la probabilidad de recuperar el análogo relevante. Sin embargo, después de la pista el conjunto de búsqueda se restringe a las historias previas y mientras los elementos estructurales tenderían a activar la historia distractora. Debería existir, por tanto, una diferencia en la probabilidad de recuperación entre este caso y el previo en el que no se da esta situación de competencia en las claves de recuperación.

Por su parte, el modelo de recuperación de Keane (1987, 1988) presupone que la recuperación del análogo cuando se intenta resolver el problema viene determinada por la activación del TOP que organiza ambas situaciones y, por

consiguiente, no debería producirse el efecto interferidor ni antes ni después de la pista. Creemos que esta hipótesis es la menos probable dado que presupone en los individuos una capacidad de organización abstracta, operando de modo automático, que ciertos estudios han cuestionado (Seifert y Black, 1983; Seifert, McKoon, Abelson y Ratcliff, 1986).

Por último, señalaremos que ninguno de los modelos predice que el efecto de transferencia negativa se manifieste en la variable temporal. Tanto en las situaciones en que existe una historia distractora como en las que no es éste el caso, el tiempo de recuperación y el tiempo de establecimiento de correspondencias para la obtención de la solución debe ser el mismo.

METODO

Sujetos

En el experimento participaron de forma voluntaria 186 personas que realizaban el primer curso de Psicología en la Universidad de Barcelona.

Material

El problema que los sujetos debían resolver durante el desarrollo del experimento fue el problema de la radiación de Duncker (1945) en la misma versión presentada en el trabajo de Sierra y Foufre (1987), que es una traducción de la habitualmente utilizada, y puede verse en el Apéndice A.

Previamente al intento de solución del problema, los sujetos tuvieron que leer y resumir dos de las cinco historias empleadas, según la condición experimental a que pertenecían. Cada una de las historias utilizadas (que aparecen en el Apéndice B) comporta un distinto grado de similitud con el problema de la radiación de Duncker, pero todas ellas tienen una longitud similar. Las dos primeras difieren completamente del problema «objetivo» y fueron utilizadas previamente en los experimentos de Gick y Holyoak (1980). En nuestra versión aparecen con los títulos de «Los gemelos» (252 palabras) y «Los mercaderes de vino» (269 palabras). Con la intención de ser breves nos referiremos a ellas en adelante como no-análogo 1 (NoA-1) y no-análogo 2 (NoA-2) respectivamente.

La tercera historia tiene el título de «El médico de cabecera» (242 palabras) y fue creada por nosotros para este experimento. Esta historia comparte con el problema de la radiación características superficiales importantes como: «médico», «estómago», «tumor maligno», «rayos X», «rayos láser» y «operación». Sin embargo, no tiene ninguna semejanza estructural con el problema, por lo que la denominaremos pseudoanálogo (PsA).

La cuarta historia representa con respecto al problema un análogo en un contexto distinto. Se trata de la historia titulada «El general» (239 palabras) utilizada por Gick y Holyoak (1983) y presenta una situación que preserva, en gran medida, la estructura del problema de la radiación pero no existe prácticamente similitud en los elementos superficiales o contextuales de la historia. Nos referiremos a ella como el análogo estructural (AE).

Por último, la quinta historia, titulada «La bombilla» (249 palabras) y utilizada por Holyoak y Koh (1987), mantiene la estructura del problema de la ra-

diación y además incluye un elemento superficial importante como es el uso de rayos para la solución del problema. Llamaremos a esta historia el análogo estructural-superficial (AE-S), a pesar de que la similitud superficial diste mucho de ser completa.

También elaboramos un pequeño cuestionario para determinar si los individuos habían tenido alguna experiencia previa con el problema planteado en el experimento u otros similares. También se pretendía con este cuestionario extraer algunos datos sobre el proceso de pensamiento de los sujetos durante su tentativa de solución del problema.

Diseño y Procedimiento

Los 186 sujetos fueron asignados al azar a cada una de las cuatro condiciones experimentales más una quinta condición de control en función de las historias que leyeron y resumieron en la primera fase del experimento.

En la primera condición (CO1) las historias incluidas fueron «El médico de cabecera» (PsA) y «El general» (AE). En la segunda condición (CO2) las historias fueron «Los gemelos» (NoA-1) y «El general» (AE). En la tercera condición (CO3), «El médico de cabecera» (PsA) y «La bombilla» (AE-S), y en la cuarta condición (CO4) «Los gemelos» (NoA-1) y «La bombilla» (AE-S). En la quinta condición, o condición de control, las historias presentadas fueron «Los gemelos» (NoA-1) y «Los mercaderes de vino» (NoA-2). El orden de presentación de las dos historias fue contrabalanceado en todas las condiciones.

Una vez concluida la tarea de lectura y resumen de las dos historias se planteaba a todos los grupos experimentales el problema de la radiación.

Todos los individuos pasaron el experimento de forma colectiva divididos en cuatro grupos. Se les entregó un cuadernillo con todas las consignas y materiales necesarios para el desarrollo de sus tareas en el experimento. Este se realizó en las aulas habituales de clase. Se situó a los sujetos lo suficientemente separados entre sí para que no pudiesen ver lo que otros individuos escribían.

En primer lugar, los sujetos debían leer y resumir consecutivamente cada una de las dos historias correspondientes a su condición experimental. Se informó a los sujetos de los plazos de tiempo de que disponían para esta tarea (10 minutos para cada una de las historias). Este tiempo fue suficiente para que todos los sujetos realizaran sin premura la tarea de lectura y resumen.

A continuación se planteó el problema de la radiación de Duncker (1945) y se dio la consigna de que escribieran la solución a la que llegaran de forma tan precisa y completa como les fuera posible. Con el fin de controlar el tiempo aproximado que se tardaba en obtener las soluciones, seguimos un procedimiento similar al de Bowden, (1985): se instruía a los sujetos para que apuntaran en unos recuadros, previstos a tal efecto en la hoja de respuesta del cuadernillo, el último número que el experimentador hubiese anotado en la pizarra en el momento en que empezasen a escribir la solución propuesta y en el momento en que acabasen de escribirla. A partir del momento en que los sujetos empezaban a trabajar en el problema, el experimentador escribía el número 0 en la pizarra y empezaba a controlar el tiempo escribiendo números sucesivos cada 15 segundos.

Después de un intervalo de diez minutos intentando solucionar el problema, se sugirió a los sujetos la posibilidad de que en alguna de las dos historias leídas

y resumidas previamente existieran pistas que ayudaban a resolver el problema. Si a partir de ese momento se les ocurría una nueva solución debían escribirla. Pero si consideraban correcta la solución dada no tenían porque escribir nada. Como en el intento de solución previo, debían anotar de nuevo en dos recuadros los números apuntados por el experimentador en el momento de empezar a escribir y en el momento de acabar.

Finalmente, los sujetos debían responder al cuestionario con que se cerraba el cuadernillo. La figura 1 sintetiza las fases del procedimiento experimental.

FIGURA I

*Secuencial temporal de las distintas fases del experimento.
Time intervals of the different experimental phases.*

fases						
A	B	C	D	E	F	G
5	10	10	5	10	5	5
minutos						

- A: Instrucciones para el resumen.
- B: Lectura y resumen de la 1.^a historia.
- C: Lectura y resumen de la 2.^a historia.
- D: Instrucciones para la solución del problema.
- E: Intento de solución del problema.
- F: Pista y segundo intento de solución del problema.
- G: Cuestionario.

RESULTADOS

Las soluciones propuestas por los sujetos fueron evaluadas por dos personas independientemente. Se consideró como criterio de solución correcta que el individuo mencionara en su respuesta que había que dirigir los rayos contra el tumor desde distintas direcciones. El índice de acuerdo entre las personas que corrigieron fue de 0.94 y los casos en los que se dieron discrepancias se discutieron hasta llegar a un acuerdo.

La Tabla I presenta los resultados obtenidos en cuanto a porcentajes y frecuencias de solución en cada una de las condiciones.

Las medias de tiempo obtenidas en cada condición se muestran en la Tabla II. No se incluyen en este caso los resultados de la condición de control, dado que sólo un sujeto, de los 32 que integraban esta condición, resolvió el problema y este dato no es relevante para el análisis posterior.

Los primeros análisis confirman la mayor probabilidad de recuperación espontánea de análogos que comparten elementos superficiales con el problema obtenida en investigaciones anteriores. En primer lugar se observa que mientras

TABLA I

Porcentajes y frecuencias de solución antes y después de la pista
(Percentages and frequencies of subjects producing convergence solution at each condition, before and after the hint)

Condición	Antes de la pista	Después de la pista	No solucionan	N
CO1 (PsA-AE)	10.9 (5) *	34.8 (16)	54.3 (25)	46
CO2 (NoA1-AE)	10.9 (5)	56.5 (26)	32.6 (15)	46
CO3 (PsA-AE.S)	55.3 (26)	17.0 (8)	27.7 (13)	47
CO4 (NoA1-AE.S)	66.0 (31)	23.4 (11)	10.6 (5)	47
CO5 (NoA1-NoA2)	3.1 (1)	0.0 (0)	96.9 (31)	32

(*) Las frecuencias se expresan entre paréntesis.

(*) Frequencies are in parentheses.

TABLA II

Medias de tiempo por condición de los individuos que produjeron la solución de convergencia en el momento de empezar a escribir la solución, durante su escritura y total (en segundos). Antes y después de la pista.

(Time means (in seconds) of subjects at each condition who produced convergence solutions. These time means concern the interval before writing and the interval employed in writing, before and after the hint)

Condición	Tiempo en empezar	Tiempo escribiendo	Tiempo total
Antes de la pista			
CO1 (PsA-AE)	115	162	277
CO2 (NoA1-AE)	115	150	265
CO3 (PsA-AE.S)	105	123	228
CO4 (NoA1-AE.S)	102	126	228
Después de la pista			
CO1 (PsA-AE)	75	117	192
CO2 (NoA1-AE)	88	106	194
CO3 (PsA-AE.S)	78	75	153
CO4 (NoA1-AE.S)	60	86	146

sólo el 10,8% de los sujetos de las condiciones 1 y 2 resuelven el problema antes de la pista, el 60,6% lo hacen en las condiciones 3 y 4, siendo esta diferencia estadísticamente significativa ($Z = 7.06$, $p < .001$). En segundo lugar y como en trabajos precedentes, no se observaron diferencias entre ambos pares de condiciones después de la pista. El grupo de las condiciones 1 y 2 obtuvo un 51,2%, y el grupo de las condiciones 3 y 4 un 51,3% ($Z = .013$, $p > .05$).

En cuanto al tiempo de solución, uno de los objetivos directos de nuestra investigación, vamos a ver ahora cuáles fueron los resultados obtenidos. Tal como habíamos previsto, no se dieron diferencias significativas en cuanto al tiempo que tardaron los individuos en empezar a escribir sus soluciones. Antes de la pista, la media de las condiciones 1 y 2 fue 115 seg. y la de las condiciones 3 y 4 fue 103 seg. ($t = .753$ (65), $p > .05$). Después de la pista la media de las condiciones 1 y 2 fue 83 seg. y la de las condiciones 3 y 4 fue 68 seg. ($t = 1.198$ (59) $p > .05$). Sin embargo, sí que se obtuvieron diferencias en cuanto al tiem-

po que emplearon los sujetos en escribir sus soluciones. Antes de la pista, las condiciones 1 y 2 emplearon 154 seg., mientras que las condiciones 3 y 4 emplearon 124 seg. ($t = 1.881$ (65), $p < .05$). Después de la pista, las condiciones 1 y 2 emplearon 110 seg. y las condiciones 3 y 4 emplearon 81 seg. ($t = 2.245$ (59), $p < .05$). Estas diferencias en los tiempos empleados en escribir determinaron diferencias significativas en los tiempos totales invertidos en dar la solución. Antes de la pista, el tiempo total de las condiciones 1 y 2 fue de 269 seg., y el de las condiciones 3 y 4 fue de 228 seg. ($t = 1.658$ (65), $p = .05$). Después de la pista, el tiempo total de las condiciones 1 y 2 fue de 193 seg., mientras que las condiciones 3 y 4 emplearon una media de 149 seg. ($t = 2.515$ (59), $p < .01$). Estos resultados apoyan las predicciones establecidas.

Vamos a ver ahora los resultados referidos al posible efecto de transferencia negativa, en donde compararemos la condición 1 con la 2 y la 3 con la 4. Antes de la pista no se produjo efecto de transferencia negativa, pues no se produjeron diferencias significativas en cuanto a los porcentajes de recuperación. Las condiciones 1 y 2 dieron el mismo porcentaje de solución (10.9%). Por su parte las diferencias entre las condiciones 3 y 4 (55,3% vs. 66,0%) no fueron significativas ($Z = 1.05$, $p > .05$). Sin embargo, sí se obtuvo el efecto de interferencia después de la pista, como se había previsto. Se produjeron diferencias significativas en cuanto al porcentaje de solución entre las condiciones 1 (39,0%) y 2 (63,4%), ($Z = 2.209$, $p < .05$); y entre las condiciones 3 (38,1%) y 4 (68,7%) ($Z = 1.848$, $p < .05$). Por último, hay que señalar que no se obtuvieron diferencias significativas en cuanto al tiempo que tardaron en empezar a escribir y el tiempo empleado en ello al comparar las condiciones 1 y 2, y las condiciones 3 y 4. La Tabla III resume de forma esquemática los resultados obtenidos.

TABLA III

Resumen de las comparaciones efectuadas respecto a los porcentajes de solución (%) y los tiempos (T) en empezar a escribir (em) y durante la escritura (es). Las condiciones están especificadas por sus correspondientes números.

(Summary of statistical tests concerning solution percentages (%), and time intervals (T) before writing (em) and during writing (es). Conditions are expressed by their respective number)

Antes de la pista		
%	$[c1-c2] < [c3-c4]$	$[c1] = [c2]$ $[c3] = [c4]$
T	$[c1-c2] = [c3-c4]$ em $[c1-c2] > [c3-c4]$ es	$[c1] = [c2]$ em $[c1] = [c2]$ es $[c3] = [c4]$ em $[c3] = [c4]$ es
Después de la pista		
%	$[c1-c2] = [c3-c4]$	$[c1] < [c2]$ $[c3] < [c4]$
T	$[c1-c2] = [c3-c4]$ em $[c1-c2] > [c3-c4]$ es	$[c1] = [c2]$ em $[c1] = [c2]$ es $[c3] = [c4]$ em $[c3] = [c4]$ es

DISCUSION

La importancia de la similitud superficial entre un análogo fuente y un problema objetivo, que había sido puesta de manifiesto en trabajos anteriores recientes (Holyoak y Koh, 1987; Keane, 1987), se ha evidenciado también en el

nuestro. Cuando el análogo previo comparte con el problema objetivo características estructurales y superficiales, su recuperación es más probable que cuando los elementos análogos compartidos son exclusivamente estructurales.

Respecto al tiempo de recuperación, como se había predicho, no se produjeron diferencias entre las condiciones que incluían ambos tipos de análogos. Aunque las diferencias obtenidas no son estadísticamente significativas, no obstante, sí se observa una tendencia a recuperar más rápidamente los análogos que comparten ambos tipos de características. En espera de mediciones más rigurosas nos abstendremos de apuntar conclusiones al respecto. De todas formas, de evidenciarse esta tendencia no se confirmaría la hipótesis planteada.

Una vez que el análogo relevante es recuperado, los elementos estructurales se constituyen en la materia prima fundamental del proceso de establecimiento de correspondencias y no se encuentran diferencias notables en cuanto a los porcentajes de solución que dependan de la cantidad de elementos superficiales compartidos. Sin embargo, esto no quiere decir que los elementos superficiales no jueguen papel alguno en este proceso. Los resultados de nuestro trabajo indican que cuando se proporcionan al individuo análogos que también comparten elementos superficiales, el proceso de establecimiento de correspondencias es más rápido. Resulta, por tanto, apropiado pensar que la proximidad semántica facilita el establecimiento de correspondencias entre pares de conceptos potencialmente análogos pertenecientes a los dos episodios que se están contrastando. Parece ser que la influencia de las características superficiales en el proceso de establecimiento de correspondencias está determinado por el grado de experiencia que la persona posee sobre el dominio de conocimiento en donde se desarrolla el proceso de razonamiento analógico. Como señalan varios estudios, las personas expertas en un determinado campo de conocimiento son más capaces de representar y analizar los elementos causales relevantes de las situaciones relativas a ese dominio (Chi, Feltovich y Glaser, 1981; Novic, 1988).

Por otra parte, utilizamos el efecto de transferencia negativa para discriminar alguna de las distintas predicciones que se generan a partir de los dos modelos de recuperación propuestos. Vimos que el modelo de Holland et al. (1986) predecía que este efecto debía producirse cuando se restringía el ámbito de búsqueda en memoria a las historias leídas antes del intento de solución del problema. Por otra parte, el modelo de Keane (1987, 1988) no predecía que tal efecto se produjera ni antes ni después de la pista. Los resultados obtenidos concuerdan mejor con la explicación que proporciona el modelo de Holland et al., pues se obtuvo un claro efecto interferidor, después de la pista, producido por historias que compartían las características superficiales del problema pero eran completamente distintas respecto a su estructura. Este efecto interferidor no podía atribuirse, como ya señalamos, al proceso de establecimiento de correspondencias porque las características superficiales, como se ha demostrado, sólo afectan a la rapidez con la que se desarrolla este proceso. Además no se observaron efectos de transferencia negativa ni en el tiempo de recuperación ni en el tiempo de establecimiento de correspondencias. Otros datos, proporcionados por los cuestionarios cumplimentados por los sujetos, apoyan esta interpretación: 10 de los sujetos que no solucionaron el problema en la condición 1, y 4 sujetos en la condición 3 manifestaron que habían intentado solucionar el problema en base al pseudoanálogo.

En nuestra opinión, el problema del modelo de Keane para ajustarse a estos datos radica en presuponer que el TOP que fue utilizado para la comprensión

y organización en memoria de la historia previa es de nuevo activado en el momento de resolver el problema. Trabajos recientes (ver p. e. el de Seifert et al., 1986) han demostrado que las personas no organizan la información que reciben de forma automática en términos tan abstractos. Para que esto sea así, es necesario instar explícitamente a los sujetos a procesar la información en términos abstractos y además proporcionarles cierto entrenamiento.

No estamos proponiendo que el modelo de Keane sea totalmente inútil. Por el contrario, parte de una teoría de la organización de la memoria que ha demostrado su validez en diversos ámbitos tanto de la psicología como de la inteligencia artificial. Sin embargo, sería más apropiado pensar que los TOPs son activados a partir de elementos más superficiales y ligados al contenido de los episodios que organizan. Esta perspectiva, más acorde en nuestra opinión con la propuesta original de Schank (1982), obviará los inconvenientes antes mencionados y haría que el modelo de Keane se ajustase mejor a los datos obtenidos.

Por su parte, el modelo de Holland et al. (1986) no está exento de problemas. Quizá el más importante de ellos sea la distinción superficial-estructural que tanto se ha manejado dentro de esta línea de investigación y en el presente trabajo. Aunque esta distinción es intuitivamente válida y útil para referirse a múltiples aspectos implicados en la resolución de problemas, resulta difícil determinar a priori qué elementos serán superficiales y cuáles estructurales en la representación que los individuos hacen de los problemas con los que se enfrentan (Keane, 1988).

Desde nuestro punto de vista, resulta interesante la distinción elaborada por Keane (1988) entre características de los objetivos y características de los objetos. Las primeras son asimiladas por el propio autor con lo que hemos denominado como características estructurales y las segundas con las superficiales. Esta distinción puede permitir una discriminación más fina de su participación en los distintos procesos.

Vamos, por último, a intentar sintetizar cuál es nuestro punto de vista sobre el proceso de recuperación de análogos en solución de problemas. Creemos que los distintos modelos propuestos no hacen sino explicar distintos momentos del proceso de aprendizaje. Modelos como el de Gentner y Landers (1985) postulan que el proceso de recuperación está exclusivamente mediatizado por elementos superficiales. Keane (1988) señala que esto puede ser cierto cuando: a) el dominio objetivo no puede ser categorizado como un ejemplo particular de una estructura superordenada; b) la naturaleza exacta de la similitud (si ésta existe) entre los dos dominios es desconocida debido a la anterior condición; y c) la naturaleza de la tarea requiere, sin embargo, que algún conocimiento sea recuperado para comprender la situación. Nótese que las condiciones a) y b) son, probablemente, las que se producen cuando el individuo carece de experiencia significativa dentro del dominio de conocimiento en el que se inscribe la situación con la que se enfrenta.

Los otros dos modelos, el de Holland et al., y el de Keane, presuponen la participación de claves superficiales y estructurales en el proceso de recuperación de análogos. Esto implica conceder a los sujetos cierta competencia sobre el dominio de conocimiento que posibilite un cierto grado de abstracción en sus representaciones. Keane (1988) considera que este es el caso cuando: a) tanto la situación fuente como la situación objetivo pueden ser categorizadas como ejemplos de una estructura superordenada; b) ambas situaciones son organizadas en memoria respecto a la misma estructura superordenada; y c) la estrategia

de recuperación requerida por la tarea prima la estructura conceptual que ambas situaciones comparten. Es más probable que las condiciones a) y b) se produzcan cuanta más experiencia tenga el sujeto dentro de un dominio determinado.

¿Cuál es pues la diferencia fundamental entre ambos modelos? Tanto uno como otro parten de presupuestos teóricos compatibles, ya que el marco general de la «inducción» que inspira el modelo de Holland et al. pretende integrar la teoría de la memoria dinámica de Schank (1982), en la que se basa el modelo de Keane. En nuestra opinión, difieren en el nivel de abstracción que presuponen en las representaciones que generan los individuos. Mientras que el modelo de Holland et al. considera que los individuos representan el problema en términos de «estado inicial», «objetivo», «limitaciones», etc. en los que se incluyen los elementos superficiales de la situación, el modelo de Keane propone una representación de orden más abstracto. Ambos modelos pueden captar momentos distintos en la progresiva evolución hacia la abstracción que experimentan las estructuras de conocimiento con la experiencia y, por ende, ambas explicaciones pueden integrarse.

Creemos que el problema fundamental reside más en conseguir explicitar con detalle las distintas propiedades de elementos estructurales y superficiales en la representación y determinar cómo estas influyen tanto en el proceso de recuperación de análogos potenciales, como en el proceso de establecimiento de correspondencias. La distinción entre características de los objetivos y características de los objetos puede ser de utilidad en este sentido.

Otro factor que puede contribuir a resolver los problemas pendientes reside en el control de las distintas variables en las que se manifiestan los procesos implicados en solución de problemas por analogía. Además de los porcentajes de solución y los datos procedentes de protocolos verbales, resulta de interés controlar el tiempo que invierten los sujetos en los distintos procesos implicados en la solución. Esta ha sido una de las motivaciones fundamentales de la presente investigación, aunque deberemos en el futuro aplicar procedimientos que puedan reflejar con mayor exactitud las distintas fases de la resolución de problemas por analogía.

Notas

¹ La solución óptima al problema de la radiación consiste en aplicar rayos de más baja intensidad desde distintas direcciones. Los rayos convergerán sobre el tumor alcanzando en ese punto la intensidad suficiente para destruirlo sin afectar así a los tejidos sanos.

Referencias

- BOWDEN, E. M. (1985). Accessing relevant information during problem solving: Time constraints on search in the problem space. *Memory and Cognition*, 13 (3), 280-286.
- BURSTEIN, M. H. (1986). A model of learning by incremental analogical reasoning and debugging. En R. Michalski, J. G. Carbonell & T. M. Mitchell (Eds.). *Machine learning: An artificial intelligence approach*, vol. 2. Los Altos, CA: Kaufmann.
- CARBONELL, J. G. (1981). Metaphor: An inescapable phenomenon in natural language comprehension. C-MU Technical Report, Department of Computer Science, Carnegie-Mellon University.
- CHI, M. T. H., FELTOVICH, P. J. Y GLASER, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- DUNCKER, K. (1945). On problem solving. *Psychological Monographs*, 58, (Whole Núm. 270).

- GENTNER, D. (1983). Structure mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 155-170.
- GENTNER, D. Y LANDERS, R. (1985). Analogical reminding: A good match is hard to find. *Proceedings of the International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Tucson, Arizona, November.
- GICK, M. L. Y HOLYOAK, K. J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, 12, 306-355.
- GICK, M. L. Y HOLYOAK, K. J. (1983). Schema induction in analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.
- GILOVICH, T. (1981). Seeing the past in the present: The effects of associations to familiar events on judgements and decisions. *Journal of Personality and Social Psychology*, 40, 797-808.
- HAYES, J. R. Y SIMON, H. A. (1977). Psychological differences among problem isomorphs. En N. J. Castellan, D. B. Pisoni & G. R. Potts (Eds.), *Cognitive Theory*, vol. 2. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- HOLLAND, J. H., HOLYOAK, K. J., NISBETT, R. E. Y THAGARD, P. (1986). *Induction: Processes of inference, learning and discovery*. Cambridge MASS: MIT Press.
- HOLYOAK, K. J. (1984). Mental models in problem solving. En J. R. Anderson & S. M. Kosslyn (Eds.). *Tutorials in learning and memory: Essays in honor of Gordon Bower*. San Francisco: Freeman.
- HOLYOAK, K. J., JUNN, E. N. Y BILLMAN, D. O. (1984). Development of analogical problem solving skill. *Child Development*, 55, 2042-2055.
- HOLYOAK, K. J. Y KOH, K. (1987). Surface an structural similarity in analogical transfer. *Memory and Cognition*, 15 (4), 332-340.
- INDURKHYA, B. (en prensa). *Cognition and metaphor*. MIT Press.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. (1980). Mental models in cognitive science. *Cognitive Science*, 4, 71-115.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press.
- KEANE, M. T. (1985). On drawing analogies when solving problems: A theory and test of solution generation in an analogical problem solving task. *British Journal of Psychology*, 76, 449-458.
- KEANE, M. T. (1987). On retrieving analogues when solving problems. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 39A, 29-41.
- KEANE, M. T. (1988). *Analogical Problem Solving*. Chichester: Ellis Horwood.
- NOVIC, L. R. (1988). Analogical Transfer, problem similarity, and expertise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 14 (3), 510-520.
- PERFETTO, G. A., BRANSFORD, J. D. Y FRANKS, J. J. (1983). Constraints on access in a problem solving context. *Memory and Cognition*, 11, 24-31.
- REED, S. K., ERNST, G. W. Y BANERJII, R. (1974). The role of analogy in transfer between similar problem states. *Cognitive Psychology*, 6, 436-450.
- ROSS, B. H. (1984). Reminding and their effects in learning a cognitive skill. *Cognitive Psychology*, 16, 371-416.
- RUMELHART, D. E. Y NORMAN, D. A. (1981). Analogical processes in learning. En J. R. Anderson (Ed.). *Cognitive skills and their acquisition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- SCHANK, R. C. (1982). *Dynamic Memory*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SEIFERT, C. M. Y BLACK, J. B. (1983). Thematic connections between episodes. *Proceedings of the Fifth Annual Conference of the Cognitive Science Society*, Rochester, New York.
- SEIFERT, C. M., MCKOON, G., ABELSON, R. P. Y RATCLIFF, R. (1986). Memory connections between thematically similar episodes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 12, 220-231.
- SIERRA, B. (1986). Inducción y transferencia analógica de esquemas. *Conocimiento y acción*, 23-60.
- SIERRA, B. Y FOUFRE, M. (1987). Incidencia de las representaciones gráficas en la solución de problemas por analogía. *Estudios de Psicología*, 30, 31-44.
- WEISBERG, R., DI CAMILLO, M. Y PHILLIPS, D. (1978). Transferring old associations to new situations: A nonautomatic process. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 17, 219-228.
- WINSTON, P. H. (1980). Learning and reasoning by analogy. *Communications of the ACM*, 23, 689-703.

Extended summary

The research on analogical problem solving has devoted more attention to the process of «structure-mapping» of relations between a base and a target domain, than to the process of analogue retrieval. From our point of view, the process of retrieving an analogue (and known) problem when we are solving a new problem, should be considered as a particular case of a more general reminding process. In this process, a particular episode reminds of an earlier episode from a remote domain but is structurally related. Recently, two different models (Holland et al. 1986 and Keane, 1988) have been proposed to try to explain the analogue retrieval mechanism in problem solving. These two models predict that analogues sharing both structural and surface characteristics with the target pro-

blem will be better retrieved than analogues sharing only structural characteristics. Such prediction has been empirically confirmed.

The first goal of this work is to specify how surface characteristics of the problem influence the analogue retrieval process. In contrast to earlier investigations, our aim is to try to assess how long subjects take to retrieve the analogue when they are solving a problem. We related the time subjects take to retrieve the analogue with the time they take to begin writing the solution, and the time devoted to the structure-mapping process with the time they take in writing their solutions. We predict that the structure-mapping process will be slower when we use structural analogues exclusively.

A second aim of our work is to analyze the role of surface similarities in producing a negative transfer effect. Concerning this point, the two retrieval models proposed give different predictions. Keane's model does not predict a negative transfer effect because it assumes that humans could organize information in abstract levels automatically. On the other hand, the model from Holland et al. predicts a clear negative transfer effect, specially when subjects are given a hint about the possible relation between the problem and a previously read analogous story.

186 subjects in their first year in psychology at the University of Barcelona were randomly assigned to four experimental conditions and to a fifth control condition. First, subjects read and summarized two different stories depending on their condition. Afterwards they were asked to solve Dunker's (1945) «radiation problem». After ten minutes trying to solve the problem, subjects were given a clue on the possible relation between the problem and the previous stories. In the first experimental condition, subjects read and summarized a pseudo-analogue (ie., a story sharing surface characteristics with the problem, but structurally different) and a structural analogue story; subjects in the second condition were given a non-analogue (ie., differing in and structure) and structural analogue story; subjects in the third condition were given a pseudo-analogue and a surface-structural analogue story and in the fourth condition a non-analogue and a surface-structural analogue story were presented; finally, subjects in the fifth control condition were given two non-analogue stories.

As predicted, the results showed that the percentage of subject who solved the problem before they received the hint differed between the conditions with a structural analogue 1) and 2) and the conditions with a surface-structural analogue 3) and 4). These percentages did not differ after the hint had been given. Time results did not show any differences between intervals before writing, either before or after the hint. However, we found differences between time intervals spent in writing: conditions 3 and 4 were significantly faster in writing than conditions 1 and 2.

When we compared conditions 1 and 2, and conditions 3 and 4 individually, found no differences in the time intervals previous to or during writing either before or after the hint was given. Also, we did not find differences in percentages for problem solving before the hint. However, after the hint was given to the subjects, solution percentages were smaller in the conditions with a pseudo-analogue story. This trend gives support to Holland's et al. retrieval model.

This experiment supports the idea that analogue retrieval in problem solving is most likely to occur when the analogue and the problem not only share structural but also surface characteristics. Our results also confirm that the structure mapping process, after analogue retrieval, is slower for exclusively structu-

ral analogues. As we had predicted, results fit better with the retrieval model proposed by Holland et al. (1986) considering the negative transference observed after the hint. Keane's (1988) model could fail in assuming that the abstract knowledge structure used to understand and organize the previous story is again activated when the subject is trying to solve the problem. However, this problem is not a sufficient reason to have a poor opinion of Keane's model. Actually, we come to the conclusion that both models could be integrated if we assume that each one explains the situation at different moments of the learning process. That is to say, both models capture different moments in the continuous evolution of knowledge structures, from the specific to the abstract, as we increase our experience in a particular domain.

Apéndice A

PROBLEMA DE LA RADIACION, Duncker (1945)

Suponga que es usted un doctor y tiene un paciente con un tumor maligno en el estómago. Resulta que es imposible operar al paciente, pero si el tumor no se destruye a tiempo este morirá. Existe un tipo de rayos que puede utilizarse para destruir el tumor. Si estos rayos llegan al tumor todos a la vez y con una intensidad suficientemente alta, el tumor será destruido. Desafortunadamente, con esta intensidad los rayos destruyen los tejidos sanos que tienen que atravesar hasta llegar al tumor. Con una intensidad más baja los rayos son inofensivos al tejido sano, pero no afectan al tumor. ¿Qué tipo de procedimiento podría seguirse para destruir el tumor con los rayos y, al mismo tiempo, evitar la destrucción de los tejidos sanos?

Apéndice B

EL GENERAL

Había un pequeño país donde gobernaba un dictador desde su fortaleza, la cual estaba situada en el centro de la nación y circundada por granjas y pequeños poblados. Desde todas las partes del país partían caminos hacia la fortaleza. Un general rebelde había jurado tomar la fortaleza para derrocar al dictador. Sabía que con un ataque conjunto de todos sus soldados podía conquistarla. Entonces reunió a su ejército a la cabecera de una de las rutas preparándolo para lanzar un ataque directo, pero el general se enteró de que el dictador había puesto minas en cada uno de sus caminos. Las minas estaban colocadas de modo que podían pasar sobre ellas pequeños grupos de hombres sin ningún peligro, puesto que el dictador necesitaba que sus tropas y trabajadores entraran y saliesen de la fortaleza. Ahora bien, cualquier grupo un poco grande, podría hacer estallar las minas, y esto no sólo cortarían el camino, sino que destruiría muchos poblados cercanos. De aquí, que tomar la fortaleza parecía imposible. Pero al general se le ocurrió un plan simple: dividió a su ejército en pequeños grupos, y mandó a cada uno de ellos a un camino diferente. Cuando todos estuvieron preparados, dio la señal y cada grupo avanzó por una ruta distinta. El avance

se realizó de modo que el ejército completo llegó a la fortaleza al mismo tiempo. De esta forma, el general tomó la fortaleza y derrotó al dictador.

LA BOMBILLA

En un laboratorio de física de una importante universidad se estaba usando en unos experimentos una carísima bombilla que permitía emitir cantidades de luz controladas con precisión. Ana era la ayudante de laboratorio encargada de manejar la delicada bombilla. Una mañana entró en el laboratorio y comprobó que la bombilla no funcionaba. Recordó que la noche anterior había olvidado desconectarla. Como consecuencia de esto, se recalentó y los dos filamentos del interior de la bombilla, al fundirse, se habían unido. El cristal, que cerraba herméticamente la bombilla, no podía abrirse. Ana sabía que la bombilla podía repararse si se aplicaba un rayo láser, de breve duración y alta intensidad, para separar los dos filamentos que se habían unido. Además, el laboratorio disponía del equipamiento necesario para esta operación. Sin embargo, un rayo láser de alta intensidad rompería también el frágil cristal que envolvía al filamento. A intensidades más bajas, el láser no rompería el cristal pero tampoco separaría los filamentos. Parecía que la bombilla no podría ser reparada y habría que comprar otra nueva. Ana estaba a punto de abandonar cuando tuvo una idea. Situó varios aparatos de rayos láser en círculo, alrededor de la bombilla, y administró rayos de baja intensidad desde las distintas direcciones simultáneamente. Los rayos convergieron sobre el filamento, donde la combinación de sus efectos fue suficiente para separar los filamentos. El cristal permaneció intacto, pues sólo recibió rayos de baja intensidad. Ana quedó muy aliviada con la reparación y continuó con sus experimentos.

EL MEDICO DE CABECERA

Un hombre joven se presentó en la consulta de su médico de cabecera diciendo que se había sentido muy enfermo durante los últimos días. Al examinar el historial médico, se comprobó que en él no estaban registradas más que las enfermedades típicas de la infancia. El médico preguntó a su paciente que síntomas presentaba. Este le explicó que no dormía desde hacía varias noches porque al acostarse sentía un dolor agudo en la parte derecha del abdomen. También le dijo que continuamente le dolía el estómago, y padecía náuseas y vómitos, por lo que temía tener un tumor maligno en el estómago. El médico inmediatamente le ordenó que se tendiese en la camilla para proceder a un completo examen físico. Después de este examen, no se encontraron signos que pudieran orientar el diagnóstico en algún sentido. El médico continuó la exploración en el aparato de rayos X y examinó detenidamente las radiografías del abdomen del paciente. Pronto descartó la posibilidad del tumor maligno pues no aparecía en las radiografías ningún signo que lo indicara. Consideró que era conveniente internar unos días al paciente para poder observarlo y realizar otros exámenes más minuciosos. Comunicó al paciente su intención. Para tranquilizarlo, le dijo que descartaba la posibilidad del tumor y le habló de los recientes avances en el empleo terapéutico de los rayos láser. Al día siguiente, los análisis demostraron que se trataba de un caso de apendicitis que se solucionó con una sencilla operación.